

気泡を伴う液流における柱体の流体力学的特性に関する研究

著者	渡部 英夫
号	1536
発行年	1994
URL	http://hdl.handle.net/10097/10343

氏 名	わた 渡	なべ 部	ひで 英	お 夫
授 与 学 位	博 士 （ 工 学 ）			
学 位 授 与 年 月 日	平 成 6 年 11 月 9 日			
学 位 授 与 の 根 拠 法 規	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項			
最 終 学 歴	昭 和 41 年 3 月 秋田大学鉱山学部機械工学科卒業			
学 位 論 文 題 目	気泡を伴う液流における柱体の流体力学的特性に 関する研究			
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 橋本 弘之 東北大学教授 大場利三郎 東北大学教授 小林 陵二 東北大学助教授 庵原 昭夫			

論 文 内 容 要 旨

多くの工業分野で取り扱われる液体中には、種々の理由によって気泡を含む場合が多い。

例えば、

1. 地表に噴出する原油中へのガスの混入あるいは溶解ガスの分離。
2. 化学工業プラントにおける反応塔内への液体と気体の同時注入。
3. 火力発電や原子力発電などにおけるボイラー内や原子炉内での沸騰。
4. 河川や海などの、自由表面を有する流れにおける気液界面からの気泡の混入。
5. 取水槽での吸気やポンプ内でのキャビテーションの発生。

このような気泡を含む流れの中に置かれた物体、例えば、

- 橋脚、水中構造物の支柱、
- ポンプや水車などの案内羽根、
- 蒸気発生管や復水器内の管群や原子炉内の燃料棒、

などに作用する揚力、抗力、圧力などの流体力ならびに物体周りの流れの流動状態、本研究では、これらすべてを含めて**物体の流体力学的特性**と呼ぶことにするが、それらは、当然、単相流の場合とは異なっていることが予想される。したがって、上に述べた工業施設の信頼性と安全性を確保するためには、単相流中におけるそれら物体の流体力学的特性が、流れが気泡を含むことによってどのように変化するかを定量的に明らかにする必要がある。

しかしながら、従来の気泡流に関する研究は、主として管路やノズル内の流れ、いわゆる内部流れを扱ったものが多く、流れの中に置かれた物体周りの流れ、すなわち外部流れに関する研究は、

あまり行われていない。それは、流れの中に物体が存在することによって、現象がより一層複雑になり、解析や実験の困難さが増すためと考えられる。

本研究は、気泡を伴う液流における物体の流体力学的特性を、実験的に解明し、そのような流れを扱う流体機器を設計あるいは運転するために必要な、しかし、従来欠けていた、基礎資料を提供することを目的としたものである。すなわち、単相流中における流体力学的特性がよく調べられている円柱などの柱体を供試物体とした実験によって、流れが気泡を伴う場合、それらの流体力学的特性がどのように変化するかを定量的に明らかにしたもので、全編5章より構成されている。

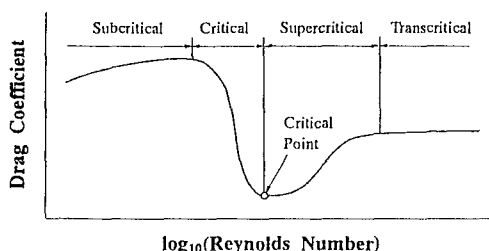


図1 流れ領域の分類

第1章 序 論

第1章では、本研究の目的および背景を概説した後、円柱の“レイノルズ数-抗力係数曲線”に基づいて、柱体周りの流れ領域を図1に示す①亜臨界領域、②遷移領域、③超臨界領域および④極超臨界領域の4領域に分類し、本論文の主要なキーワードとして用いることを述べ、更に、本論文の構成にも言及した。

第2章 遷移領域における円柱の流体力学的特性に及ぼす一様流中の気泡の影響

第2章では、円柱を横切る一様流に含まれる微量気泡の、円柱の流体力学的特性に及ぼす影響を解明した。すなわち、水平な流路中に置かれた円柱を横切る一様流中に気泡を混入して、円柱に作用する揚・抗力および表面圧力分布を計測し、その結果、図2に示すように、空気の水に対する容積流量割合 α にして0.05%というような極めて少量の気泡を混入しただけで、遷移領域における供試円柱の抗力係数が著しく減少することを明らかにした。そして、この抗力係数の減少が、円柱

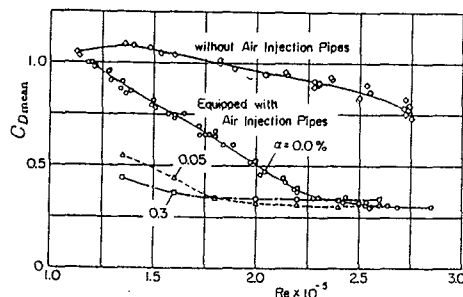


図2 抗力係数の α による変化

周りの圧力分布の変化によるものであることを示した。また、液相中の主流方向の乱れ度および気泡の寸法分布を計測し、本実験における α の範囲($\alpha=0.05\sim0.3\%$)では、気泡流中の液相内の乱れ度は単相流の場合と変化のないことを明らかにし、したがって、上述の気泡の混入による円柱の流体力学的特性の変化は、液相中の乱れ度の増大といった間接的なものではなく、円柱表面における気泡と境界層との直接的な相互干渉によって、境界層の遷移が促進されるために生ずるものと考えられることを示した。更に、臨界点およびそれに続く超臨界領域においては、一様流中に気泡

を混入しても抗力係数は減少せず圧力分布も変化しないことを明らかにした。

第3章 気泡の表面吹出しを伴う円柱の流体力学的特性

前章においては、気泡を一様流中に混入した場合について述べたが、本章では、単相流中において円柱表面から直接気泡を吹き出した場合の、円柱の流体力学的特性に及ぼす気泡の影響について述べている。供試物体として、金属フィルタ用の焼結ブロンズを素材として作成した、全周が多孔質な壁面である円柱（本論文では、これをポーラス円柱と称している）を用い、レイノルズ数が

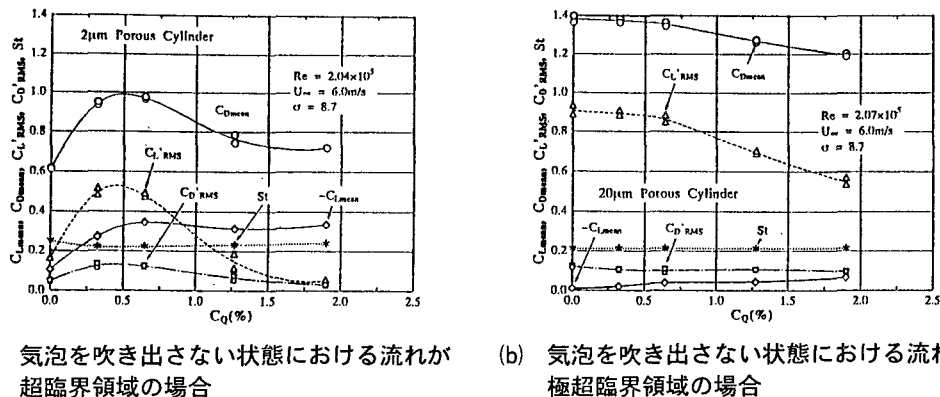


図3 気泡吹出しによるポーラス円柱の流体力学的特性の変化

$1.2 \times 10^5 \sim 4.2 \times 10^5$ の範囲において実験を行い、吹出し空気の流量を変えて測定したその場・抗力係数、表面圧力分布などを、気泡吹出しのない場合と比較した。その結果として、供試円柱に及ぼす気泡吹出しの効果は、気泡を吹き出さない状態における円柱周りの流れの“流れ領域”によって異なり、超臨界領域の場合には、図3(a)に示すように、吹出し空気流量 C_Q の増大とともに抗力係数の平均値 C_{Dmean} および揚力係数の実効値 $C_L' RMS$ が増大し、極大値に達した後減少し、一方、極超臨界領域の場合には、図3(b)に示すように、それらは C_Q の増大とともに単調に減少することを明らかにした。また、そのキャビテーション特性についても調べ、キャビテーション発生後のキャビテーション係数の減少は、吹出し空気流量の増大と同じような効果を円柱の流体力学的特性に与えることを定量的に示した。

第4章 前縁付近からの気泡吹出しを伴う柱体の流体力学的特性

従来、液流中の平板や軸対称体の乱流境界層中に微小な気泡を吹き込むと、おおよそ50～90%表面摩擦抵抗が減少することが観測されている。船体のような細長い物体の場合には、全抵抗に占める摩擦抵抗の割合は50～80%にも達する。したがって、もしそのような物体の摩擦抵抗を、上に述べたように、気泡を利用して大幅に減らすことができれば、その全抵抗を減少させることが可能であると思われる。

本章では、このような気泡吹出しによる物体の抵抗変化を工学的に応用することを目的として、

厚み比が $1/8$ と $1/3$ のだ円柱および円柱を供試物体として行った実験について述べている。気泡は前縁付近に設けたポーラス部から吹き出した。気泡の吹き出し位置を前縁近くを選んだ理由は、前縁近くから気泡を吹き出して、物体のほぼ全表面を気泡の薄い層で覆った場合に、気泡による摩擦抵抗の低減効果を最も有効に利用できると考えたからである。

計測結果によれば、図4に示すように、気泡吹き出しによってすべての供試物体の抗力係数 C_{Dmean} が増大した。その度合は物体の厚み比が大きいほど大きかった。抵抗増大の原因を理論的および現象論的に考察し、それが、(1)準静止状態で物体表面に出現する気泡を加速するために流体がなした仕事の反力、(2)表面を覆った気泡の層による実質的な物体厚みの増大、(3)物体の後流幅の増大、圧力分布および流れ場の変化などであると考えられることを明らかにし、従来見出されている気泡による抵抗低減効果が、直ちに工学的に応用できるものではないことを示した。また、気泡を吹き出した場合の供試物体の揚力変動の特性についても言及している。

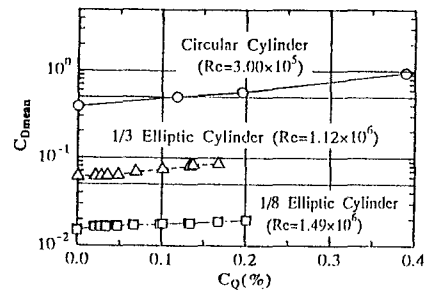


図4 C_{Dmean} の C_Q による変化

第5章 結 論

第1章から第4章までを総括したものである。

審 査 結 果 の 要 旨

種々の工業分野で取扱われる流体中には、気泡を含む場合が多く、このような流れの中に置かれた物体に作用する揚力・抗力などの流体力ならびに物体周りの流れの流動状態は、単相流の場合とは異なったものとなる。したがって、このような液流を取扱う各種工業装置において、その信頼性や安全性を確保するためには、単相流中におけるそれら物体の流体力学的特性が、流れが気泡を含むことによってどのように変化するかを定量的に明らかにする必要がある。

本研究は、気泡を伴う液流における物体の流体力学的特性を解明し、このような流れを伴う流体機器を設計あるいは運転するために必要不可欠な基礎資料を提供することを目的としたものである。すなわち、流体力学的特性がよく知られている円柱およびだ円柱を供試物体とした気泡流の詳細な実験を行い、流れに気泡が存在することによって流体力学的特性がどのように変化するかを定量的に明らかにしたものであり、全編5章より成る。

第1章は序論で、本研究の目的および背景を述べている。

第2章では、円柱を横切る一様流中に気泡を混入して、円柱に作用する揚・抗力および表面圧力分布などを計測し、極めて少量の気泡を混入しただけで、遷移領域では円柱の抗力係数が著しく減少するとともに、円柱周りの圧力分布も変化することを明確にした。更に、このような円柱における流体力学的特性の変化は、円柱表面における気泡と境界層との直接的な相互干渉によって、境界層の遷移が促進されるために生ずることを明らかにした。これは、混相流動工学における有益な知見である。

第3章では、円柱表面から直接気体を吹き出した場合に生ずる気泡が、円柱の流体力学的特性に及ぼす影響を解明した。すなわち、円柱表面からの気泡吹出しの効果は、円柱周りの流れを特徴づける“流れ領域”によって異なり、超臨界領域では吹出し空気流量の増大とともに抗力係数および揚力係数の実効値は増大し、極大値に達した後減少する。一方、極超臨界領域では、それらは空気流量の増大とともに単調に減少することを明らかにした。また、これらの流体力学的特性とキャビテーション発生時のそれとの類似性についても明確にした。これらは、円柱を利用する各種の流動装置を設計する場合に有益な知見である。

第4章では、円柱およびだ円柱の前縁付近から気体を吹き出した場合の流体力学的特性について調べ、気体を吹き出すことによって柱体の抗力は増大し、しかも、その増加割合は物体の厚み比が大きいほど大きいことを実証した。また、この抗力増大の原因を理論的および実験的に考察し、気泡による抵抗低減効果が、必ずしも工学的に応用できるとは限らないことを示した。これらは、高い信頼性を必要とする流動装置の実用上、重要な知見である。

第5章は結論である。

以上要するに本論文は、気泡を含む流れを伴う流体機器あるいは物体表面から気体を吹き出す装置の設計やその運転に際して有益な資料を提供するとともに、気泡と液流の相互干渉に基づいた流体抗力に対する新しい知見を加えたもので、流体工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。